

ANALISIS KUAT LENTUR MURNI SISTEM BALOK BATATON SEMI PRACETAK

Bagus Rizkya Putra¹⁾, Ismeddiyanto²⁾, Zulfikar Djauhari²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya J. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : Bagus.rizkya@student.unri.ac.id

Abstract

Semi precast beam is unitary beam element that supports the load in longitudinal direction, the beam is unification of semi precast concrete with 5 MPa strength of precast concrete and cast in place with 17.5 MPa strength which were combined to create unified element of semi precast beam structure. Semi precast beams made the object of review using three beams type with dimensional variations as high as beam semi precast one layer was 140 mm, beam semi precast one layer 290 mm height, and beam semi precast two layers 290 mm height to be analyzed using finite element analysis Abaqus 6.12. Semi precast beams model will be given the burden of axial load has increased. Beams will be analyzed the influence of pure bending strength received by the relationship load - deflection parameters, the relationship moments - curvature and crack pattern that occurred three types of beams. Based on analysis results obtained with Abaqus 6.12 axial load greater value with increased dimensions and beams will be more stiffness. The maximum axial load value capable detained by the three types of semi precast beams at 8,61 kN for semi precast beams one layer was 140 mm height, 29.64 kN for semi precast beams one layer of 290 mm height and 25 kN for semi precast beam two layers of 290 mm height. Evaluation of cracking that occurs is cracked bending pure occur in areas of bending moment largest and in areas of tension on the beam.

Keywords : Beam, semi precast, precast concrete, cast-in-place concrete, the finite element analysis

A. PENDAHULUAN

Pemanfaatan sistem pracetak sudah dikembangkan dalam pelaksanaan konstruksi gedung bertingkat. Penggunaan konstruksi sistem pracetak memiliki keunggulan dibandingkan pekerjaan konstruksi secara konvensional, yaitu waktu pekerjaan lebih cepat, biaya lebih rendah, serta tanpa penggunaan bahan tambahan akan lebih ramah lingkungan. Pemanfaatan sistem pracetak banyak digunakan pada pekerjaan dinding, plat lantai, *sloof*, balok dan kolom.

Metode konstruksi semi pracetak adalah suatu metode yang dapat mempercepat pekerjaan dan dapat menekan biaya suatu proyek, metode konstruksi semi pracetak adalah metode konstruksi beton kombinasi antara beton pracetak dengan beton konvensional (*cast*

in situ) atau disebut juga dengan *Hybrid Concrete Construction*.

Penggunaan sistem beton semi pracetak pada elemen struktur balok bisa menjadi alternatif lain dalam suatu konstruksi karena akan menghemat biaya dan menghasilkan kekuatan yang tidak kalah dari sistem konvensional. Balok adalah komponen elemen struktur kaku horizontal atau sering disebut sebagai elemen lentur yang memikul beban yang bekerja secara transversal dari panjangnya dan mentransfer beban tersebut ke kolom vertikal yang menumpunya, fungsi dari balok adalah membawa beban dari gravitasi dan beban horizontal sebuah bangunan yang nantinya akan disalurkan ke kolom dan selanjutnya diteruskan ke pondasi yang menumpu keseluruhan

bangunan bagian atasnya. Kegagalan balok akan berakibat pada hilangnya kekuatan sebagai penumpu sistem pelat lantai yang menahan gaya aksial suatu struktur yang berhubungan dengannya. Gaya aksial akan menghasilkan lendutan dan momen pada struktur balok seiring dengan bertambahnya beban apabila telah melewati kekuatan maksimum balok dapat menyebabkan balok tidak mampu menahan beban yang dipikul sehingga menyebabkan elemen struktur balok runtuh atau gagal. Beban aksial yang diterima balok lebih dominan dibandingkan beban horizontal yang diterima balok. Perencanaan struktur balok harus memperhitungkan secara cermat dengan memberikan cadangan kekuatan yang lebih tinggi dari pada komponen struktur lainnya. Kerusakan balok dapat terjadi antara lain karena balok kurang mampu menahan gaya yang bekerja dan simpangan antar tingkat yang terjadi pada bangunan gedung.

Pekerjaan konstruksi balok dengan sistem semi pracetak menimbulkan perbedaan mutu antara batuan pracetak dan beton *cast in place*. Mutu beton pracetak relatif lebih rendah dibandingkan mutu beton *cast in place*. Perbedaan mutu ini dapat menyebabkan elemen struktur menjadi tidak monolit. Akibat elemen struktur yang tidak monolit, hal ini akan berpengaruh terhadap kepadatan beton *cast in place* pada saat pengecoran sehingga berdampak buruk pada kekuatan beton saat mencapai umur rencana.

Sebagai pembanding antara nilai kekuatan yang dapat dipikul oleh balok semi pracetak, akan digunakan tiga model balok semi pracetak yaitu balok semi pracetak dengan satu lapis yang memiliki tinggi 140 mm, balok semi pracetak satu lapis tinggi 290 mm dan balok semi pracetak yang terdiri dari dua lapis dengan tinggi 290 mm.

Untuk mendefinisikan kekuatan dari balok semi pracetak yang ditinjau, akan diuji kekuatannya dengan menggunakan dua beban titik pada jarak sepertiga dari panjang bentang balok, penggunaan dua

beban titik dimaksudkan untuk melihat perilaku kuat lentur murni yang terjadi pada balok semi pracetak yang dijadikan objek tinjauan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka beberapa permasalahan berikut dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Perilaku kekuatan balok sistem semi pracetak akibat dua buah beban titik menggunakan *software* elemen hingga.
2. Pengaruh perbandingan dimensi terhadap kekuatan balok semi pracetak
3. Pola retak yang terjadi pada balok sistem semi pracetak menggunakan *software* elemen hingga

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Sistem Beton Semi Pracetak

Beton semi pracetak atau *hybrid concrete construction* adalah sistem struktur yang elemen-elemennya merupakan perpaduan dari beton pracetak dan beton cetak di tempat atau *cast in place*.

Sistem pracetak akan berbeda dengan konstruksi beton monolit konvensional pada aspek perencanaan, yakni tergantung atau ditentukan oleh metoda pelaksanaan dari fabrikasi, penyatuan dan pemasangannya, serta ditentukan pula oleh teknis perilaku sistem pracetak dalam hal cara penyambungan antar sub elemen. Umumnya digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah sampai menengah. Kelemahan struktur ini adalah kurang monolit, sehingga ketahanannya terhadap gempa kurang baik.

Salah satu produk dari sistem semi beton pracetak adalah pemanfaatan batuan. Batuan difungsikan sekaligus sebagai pengganti bekisting, yang biasa digunakan dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi secara konvensional. Produk batuan dapat diterapkan pada pekerjaan dinding, plat lantai, *sloof*, balok dan kolom.

Kuat tekan beton merupakan kekuatan tekan maksimum yang dapat dipikul beton per satuan luas. Kuat tarik

belah adalah kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tekan belah dari silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya. Kekuatan tarik belah beton relatif rendah, nilai kuat tekan dan tarik belah beton tidak berbanding lurus.

B.2 Balok

Balok adalah komponen elemen struktur kaku horizontal atau sering disebut sebagai elemen lentur yang memikul beban yang bekerja secara transversal dari panjangnya dan mentransfer beban tersebut ke kolom vertikal yang menumpunya. Fungsi dari balok adalah membawa beban dari gravitasi dan beban horizontal sebuah bangunan yang nantinya akan disalurkan ke kolom dan selanjutnya diteruskan ke pondasi yang menumpu keseluruhan bangunan bagian atasnya.

Balok beton bertulang terbagi menjadi tiga jenis, yakni *simple beam* yaitu balok yang ditumpu oleh pin di satu ujung dan rol di ujung yang lain, *cantilever beam* yaitu balok yang ditumpu oleh tumpuan lateral di satu ujung dan tidak mempunyai tumpuan di ujung yang lain dan *overhanging beam* yaitu balok yang ditumpu dua titik. Kuat tekan nominal secara konsentrik untuk balok dengan tulangan pengikat sengkang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$P_{n(max)} = 0,80 (0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + (f_y A_{st}))$$

dimana:

$P_{n(max)}$ = Kuat aksial tekan nominal (kN)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

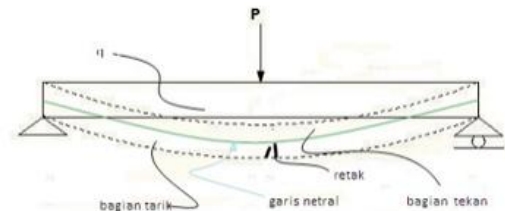
f_y = Kuat leleh baja (MPa)

Lentur pada balok merupakan akibat dari regangan yang timbul karena beban luar. Apabila beban bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (atau bertambahnya) retak lentur. Akibat dari pertambahan tegangan tersebut pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan, yaitu pada saat beban luarnya melampaui kapasitas ultimet dari balok. Taraf

pembebanan demikian disebut keadaan ultimet dari keruntuhan lentur.

B.3 Kekakuan

Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk menghasilkan satu kesatuan lendutan (Gere dan Timoshenko, 1987).



Gambar 1 Lendutan pada balok
(Budanti, 2011)

Kekakuan balok merupakan salah satu faktor penting untuk menjaga agar balok tetap kokoh. Pembatasan kekakuan berguna, antara lain untuk menjaga agar struktur atau non struktur tidak terdefleksi melampaui defleksi yang disyaratkan dalam peraturan. Kekakuan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$K = \frac{P}{\delta}$$

dimana:

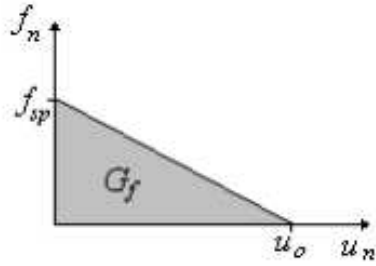
K = Kekakuan (kN/m)

P = Gaya balok (kN)

δ = Lendutan balok (m)

B.4 Retak pada Beton

Energi fraktur pada suatu elemen struktur dihasilkan dari perilaku tarik beton dan tergantung kekuatan yang dapat diterima selimut beton. Perilaku pola retak yang terjadi didasarkan dari analisa energi fraktur beton. Retak terjadi karena batas kekuatan elastis dari beton telah terlewati dan memasuki taraf plastis beton. Retak terjadi karena beton telah melewati batas tekan yang mampu ditahan Perilaku tarik beton dapat ditentukan berdasarkan energi fraktur, tegangan tarik awal retak, dan *displacement* bukaan retak. Hubungan tegangan tarik dan *displacement* bukaan retak dapat terlihat dalam Gambar 2.



Gambar 2 Perilaku tegangan tarik-
displacement
(*Seismic Assessment of WSDOT Bridges with
Prestressed Hollow Core Piles, 2009*)

Roesler, *et al.*, (2007) menentukan energi fraktur dalam persamaan sebagai berikut.

$$G_f = \frac{K_{if}^2}{E}$$

Keterangan :

G_f = Energi fraktur (N/m)

K_{if}^2 = Faktor intensitas tegangan (N/m^{3/2})

E = Modulus elastisitas (N/m²)

Sedangkan faktor intensitas tegangan dapat menurut Boresi (1993) dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

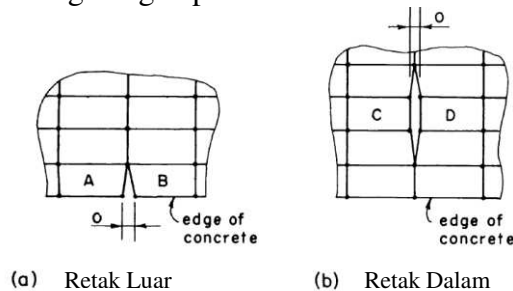
$$K_{if} = 1,12\sigma\sqrt{\pi\alpha}$$

Keterangan :

σ = Kuat tarik beton (N/m²)

α = Tebal selimut beton (m)

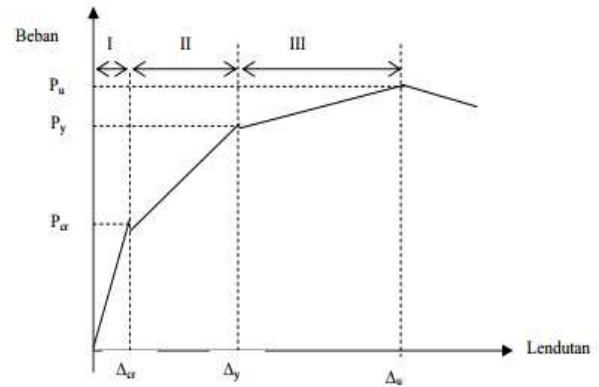
Retak bisa muncul di daerah tarik batang yang dibebani beban lentur atau tarik aksial. Perkembangan retak pada beton bertulang memberikan pengaruh yang signifikan pada tegangan-tegangan dalam dan *displacement*. Pada struktur sebenarnya, perkembangan retak berarti sistem secara fisik berubah terus menerus seiring dengan pertambahan beban.



Gambar 3 Perkembangan retak
(Nilson, 1968)

B.5 Perilaku lendutan pada balok

Hubungan beban-lendutan balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. Hubungan ini terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya *rupture* (Nawy, 1996).



Gambar 4 Hubungan beban – lendutan
(Nawy, 1996)

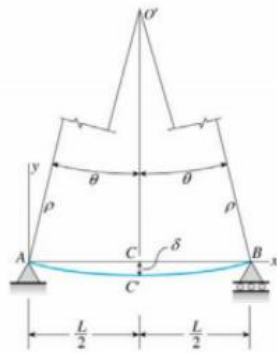
1. Daerah I : Taraf praretak, yakni komponen strukturalnya bebas retak.
2. Daerah II : Taraf pascaretak, yakni komponen strukturalnya mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya.
3. Daerah III : Taraf pasca-*serviceability*, yakni tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya.

B.6 Momen dan kelengkungan

Momen lentur (M) pada tengah tinggi (*midheight*) balok dapat diperoleh melalui hubungan $M = P(e + \delta)$. Untuk nilai lendutan (δ) diambil lendutan pada tengah bentang balok (Amri, 2016).

Semakin besar beban yang terjadi maka akan menghasilkan lendutan yang lebih besar dan apabila semakin besar lendutan maka akan menghasilkan nilai kelengkungan yang terjadi juga besar.

Data yang diperoleh dari pengujian balok berupa nilai lendutan (δ) yang terjadi pada tengah balok dapat dihitung besarnya jari-jari kelengkungan (R) dengan penyederhanaan analisis kurvatur, seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Lendutan balok dengan jari-jari kelengkungannya (Opencourseware, 2014)

Dari Gambar 5 dapat dilakukan penyederhanaan atau simplifikasi analisis *curvature* (φ) balok adalah :

$$\varphi = \frac{1}{R} = \frac{2\delta}{\delta^2 + 0,25L^2}$$

B.7 Metode Elemen Hingga

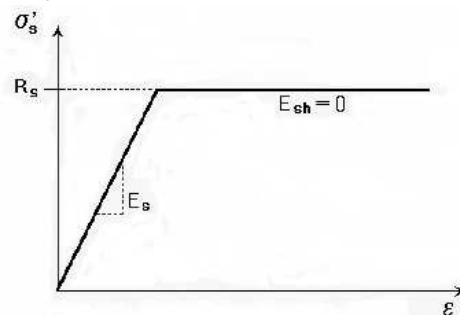
Abaqus adalah paket program simulasi rekayasa yang didasarkan pada metode elemen hingga. Program tersebut dapat memecahkan masalah mulai dari analisis linier relatif sederhana sampai simulasi nonlinier. Abaqus dapat memodelkan hampir semua bentuk geometri apapun. Program ini dapat mensimulasikan perilaku sebagian besar bahan rekayasa, termasuk logam, karet, polimer, komposit, beton bertulang, busa yang lentur dan kuat, dan bahan geoteknik seperti tanah dan batuan.

Software Abaqus menyediakan program yang digunakan untuk memodelkan benda yang akan dianalisis yang diberi nama Abaqus CAE. Program ini berfungsi sebagai desain model suatu bentuk tertentu yang akan dianalisis kekuatannya. Abaqus mempunyai fasilitas yang bisa difungsikan sebagai program analisis elastis dan plastis. Keunggulan Abaqus dibanding dengan program lain sejenis adalah lengkapnya menu yang tersedia pada *part module*, selain itu juga dapat dilakukan *test* dengan memasukkan data secara manual di dalam *input file*. Pengembangan bahasa program dalam

Abaqus memungkinkan para perancang lebih mudah dalam memilih metode yang digunakan dalam melakukan proses simulasi dan analisis (Abaqus CAE *User manual*, 2003).

Metode elemen hingga nonlinier (*nonlinear finite element method*) merupakan salah satu pendekatan untuk melakukan analisis suatu struktur selain menggunakan metode penelitian melalui eksperimen. Analisis elemen hingga nonlinier memberikan kesempatan untuk melakukan studi terhadap struktur secara lebih mendalam, karena variasi jenis dan jumlah hasil yang dianalisis dapat diperoleh lebih banyak.

Model hubungan tegangan-regangan untuk tulangan baja dengan *elasto-plastic constitutive law* ditunjukkan pada Gambar 6. Untuk bagian elastik awal mempunyai modulus elastisitas baja E_s , sedangkan bagian selanjutnya merupakan kondisi plastik baja dengan modulus *hardening* E_{sh} . Untuk kondisi *elastic-perfectly plastic* nilai $E_{sh} = 0$.



Gambar 6 *Elasto-Plastic constitutive law* untuk tulangan baja (Nuryanti, 2010)

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Pembuatan geometri balok beton bertulang

Tahap awal pembuatan geometri balok adalah dengan menentukan titik koordinat yang sesuai dengan dimensi balok dan menghubungkan dengan garis tiap masing – masing titik sehingga menghasilkan satu kesatuan bentuk geometri yang diinginkan dan dibentuk menjadi *surface*. *Surface - surface* yang telah terhubung kemudian

dibentuk menjadi suatu volume geometri. Pemodelan dilakukan untuk mengisi setiap komponen elemen suatu struktur yang akan dimodelkan pada balok semi pracetak yang ditinjau.

Pemodelan dilakukan terhadap tiga elemen struktur, yakni penulangan, balok *cast in place*, dan balok pracetak yang selanjutnya digabungkan sehingga menjadi balok semi pracetak yang ditinjau. Secara rinci model yang dibuat dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1 Balok Pracetak 1 Lapis 140 mm

Spesifikasi	Ukuran
Dimensi Balok Pracetak (mm)	140 x 140
Tinggi Balok (mm)	3000
Mutu beton (MPa)	5

Tabel 2 Spesifikasi Tulangan Balok Semi Pracetak 1 Lapis 140 mm

Spesifikasi	Ukuran
Tulangan Longitudinal (mm)	12
Jumlah Tulangan Longitudinal	4
Tulangan Sengkang (mm)	6
Tulangan Sengkang (mm)	50 x 75
Jumlah Tulangan Sengkang	22

Tabel 3 Balok Pracetak 1 Lapis 290 mm

Spesifikasi	Ukuran
Dimensi Balok Pracetak (mm)	140 x 290
Tinggi Balok (mm)	3000
Mutu beton (MPa)	5

Tabel 4 Spesifikasi Tulangan Balok Semi Pracetak 1 Lapis 290 mm

Spesifikasi	Ukuran
Tulangan Longitudinal (mm)	12
Jumlah Tulangan Longitudinal	4
Tulangan Sengkang (mm)	6
Tulangan Sengkang (mm)	50 x 220
Jumlah Tulangan Sengkang	22

Tabel 5 Balok Pracetak 2 Lapis 290 mm

Spesifikasi	Ukuran
Dimensi Balok Pracetak 1 (mm)	140 x 140
Dimensi Balok Pracetak 2 (mm)	140 x 140
Spesi (mm)	140 x 10
Tinggi Balok (mm)	3000
Mutu beton (MPa)	5

Tabel 6 Spesifikasi Tulangan Balok Semi Pracetak 2 Lapis 290 mm

Spesifikasi	Ukuran
Tulangan Longitudinal (mm)	12
Jumlah Tulangan Longitudinal	4
Tulangan Sengkang (mm)	6
Tulangan Sengkang (mm)	50 x 220
Jumlah Tulangan Sengkang	22

C.2 Input data property

Input data property dilakukan dengan memasukkan data berupa sifat-sifat mekanik material. Material beton pada penelitian ini dimodelkan dengan tipe *solid, homogeneous* sedangkan tulangan dimodelkan dengan tipe *truss*. Material baja yang digunakan dalam pemodelan memiliki karakteristik sebagai berikut.

a. *Mass density* = 7850 kg/m^3

b. *Young's modulus* = 200000 MPa

c. *Poisson's ratio* = 0,3

Material beton yang digunakan terdiri dari dua jenis beton dengan mutu yang berbeda yaitu beton dengan mutu 5 Mpa untuk beton pracetak dan beton dengan mutu 17,5 Mpa untuk beton *cast in place*. Material beton yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

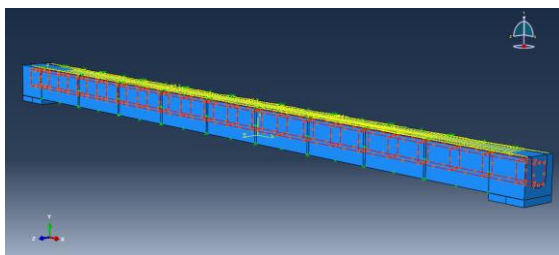
Tabel 7 Nilai Karakteristik Mutu Beton

Komponen	Mutu beton (Mpa)	Mass Density (kg/m^3)
Balok pracetak	5	2400
<i>Cast in Place</i>	17,5	2400

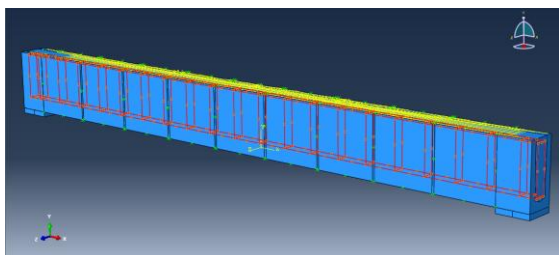
C.3 Assembly dan meshing

Setelah proses *input data* selesai dilakukan, selanjutnya tulangan akan dirakit menjadi suatu rangkaian tulangan dengan tulangan longitudinal yang berjumlah empat buah tulangan dimana pada sisi atas yang mengalami tekan dipasang dua buah tulangan dan pada posisi bawah yang mengalami tarik juga dipasang dua buah tulangan. Untuk tulangan sengkangnya dipasang sebanyak 22 buah untuk menahan geser yang terjadi.

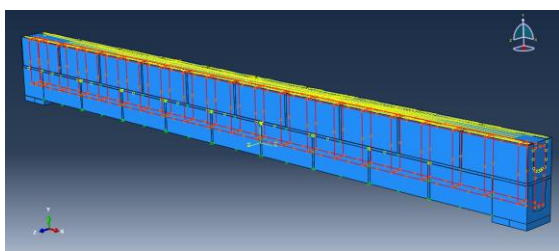
Balok pada bagian beton pracetak akan digabungkan dengan beton *cast in place* dan spesi, kemudian selanjutnya diberikan interaksi antara tulangan dan balok beton semi pracetak. Rangkaian tulangan selanjutnya akan diberi interaksi *embedded region* sehingga model sambungan balok dengan model tulangan akan menjadi satu kesatuan. Setelah seluruh komponen menjadi satu kesatuan, selanjutnya dilakukan proses *meshing*. Model sambungan balok yang telah digabungkan terlihat dalam Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9 berikut.



Gambar 7 Model balok semi pracetak 1 lapis (140 mm)



Gambar 8 Model balok semi pracetak 1 lapis (290 mm)



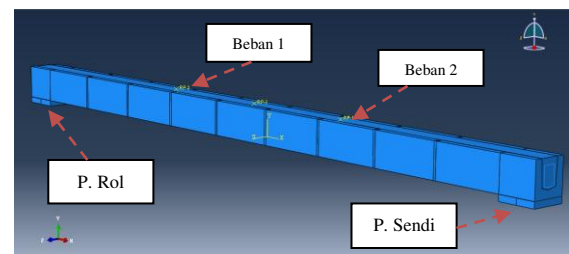
Gambar 9 Model balok semi pracetak 2 lapis (290 mm)

C.4 Pendefinisian kondisi benda uji

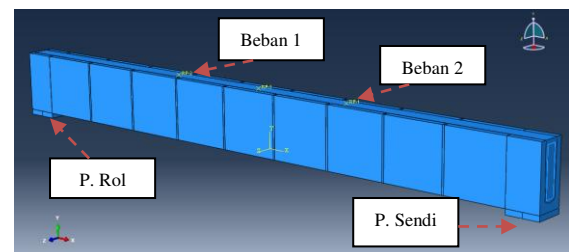
Setelah tahap *meshing* selesai, selanjutnya ada beberapa kondisi yang harus diberikan pada benda uji, yakni dilakukan pendefinisian kondisi balok semi pracetak yang ditinjau sebagai berikut.

- Pemberian perletakan (*restraint*)
Dalam penelitian digunakan jenis perletakan sendi - rol yang dapat terlihat dalam Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12.
- Pemberian beban
Pembebanan yang diaplikasikan pada model berupa beban aksial yang mengalami peningkatan.
- Penentuan titik *displacement*
Penentuan lokasi *displacement* pada *node* dapat dipilih sesuai yang diinginkan.

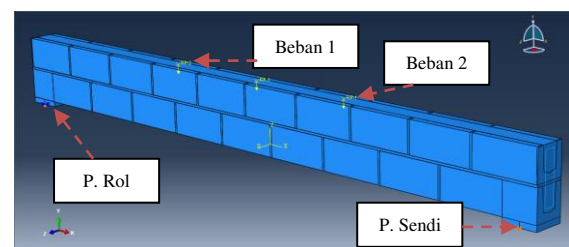
Pendefinisian kondisi benda uji pada model dapat terlihat dalam Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12 berikut.



Gambar 10 Model kondisi benda uji balok semi pracetak 1 lapis (140 mm)



Gambar 11 Model kondisi benda uji balok semi pracetak 1 lapis (290 mm)

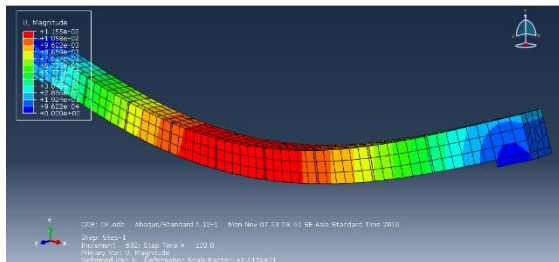


Gambar 12 Model kondisi benda uji balok semi pracetak 2 lapis (290 mm)

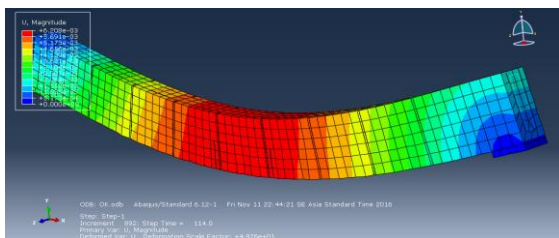
C.5 Running dan output

Setelah seluruh proses *input* data dan pendefinisian kondisi benda uji telah

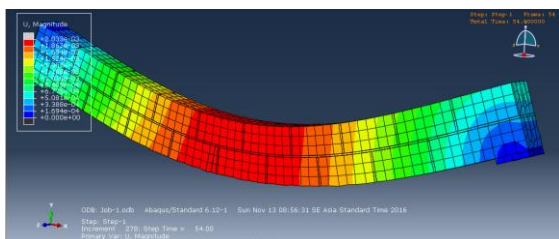
selesai diberikan kepada model balok semi pracetak yang ditinjau, maka tahap selanjutnya adalah dilakukan proses *running* untuk melihat hasil keluaran kuat lentur dari balok semi pracetak. Data yang sudah selesai *running* akan memunculkan plot kontur akibat *stress* (beban) dengan menampilkan perpindahan gaya seperti yang terlihat dalam Gambar 13, Gambar 14 dan Gambar 15.



Gambar 13 Tampilan hasil *running* software elemen hingga balok semi pracetak 1 lapis tinggi 140 mm



Gambar 14 Tampilan hasil *running* software elemen hingga balok semi pracetak 1 lapis tinggi 290 mm



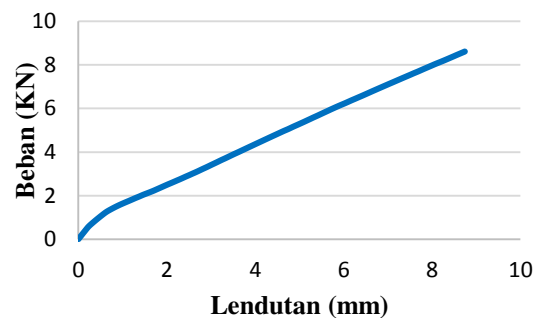
Gambar 15 Tampilan hasil *running* software elemen hingga balok semi pracetak 2 lapis tinggi 290 mm

Berdasarkan Gambar 13, Gambar 14 dan Gambar 15 dapat dilihat bahwa deformasi terbesar terjadi pada daerah dimana balok terjadi momen lentur terbesar sehingga menyebabkan retak di daerah yang mengalami momen lentur terbesar.

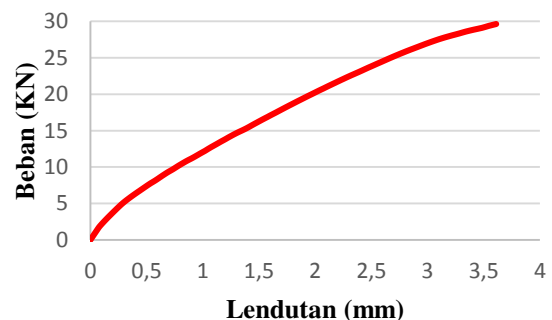
D. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

D.1 Grafik hubungan beban-*displacement*

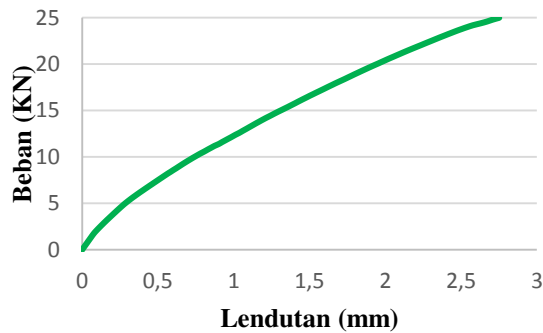
Berdasarkan hasil uji numerik pemodelan elemen hingga balok semi pracetak dengan variasi dimensi tinggi dari balok semi pracetak yang ditinjau dengan menggunakan software Abaqus 6.12, diperoleh kurva hubungan beban lateral dan lendutan (*displacement*) (P vs Δ) dimana kemampuan balok semi pracetak dalam menahan beban akan meningkat seiring pertambahan dimensi tinggi yang digunakan, karena semakin tinggi dimensi balok semi pracetak maka kekakuan yang akan terjadi semakin besar dan menyebabkan lendutan pada balok semakin kecil dan apabila semakin kecil lendutan yang terjadi maka kekakuan yang akan terjadi juga akan semakin kecil sehingga balok dengan tinggi 290 mm mampu memikul beban yang lebih besar dibandingkan balok dengan tinggi 140 mm sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 16, Gambar 17 dan Gambar 18 berikut.



Gambar 16 Grafik beban lateral – lendutan balok semi pracetak 1 lapis tinggi 140 mm



Gambar 17 Grafik beban lateral – lendutan balok semi pracetak 1 lapis tinggi 290 mm



Gambar 18 Grafik beban lateral – lendutan balok semi pracetak 2 lapis tinggi 290 mm

Besarnya beban berbanding lurus dengan lendutan yang terjadi, semakin besar beban yang diberikan maka lendutan yang terjadi akan semakin besar. Besarnya nilai lendutan dipengaruhi oleh kekakuan sedangkan untuk nilai hasil perbandingan beban lateral dan lendutan keseluruhan secara rinci dapat dilihat dalam Tabel 8.

Tabel 8 Perbandingan Nilai Beban dan Lendutan Balok Semi Pracetak

Model Balok Semi Pracetak	P_{maks} (kN)	Lendutan (mm)
1 Lapis 140 mm	8,61	8,74
1 Lapis 290 mm	29,64	3,61
2 Lapis 290 mm	25	2,75

D.2 Kekakuan

Kekakuan balok semi pracetak dapat dihitung melalui beban lateral dan lendutan yang terjadi pada balok semi pracetak yang ditinjau. Perbandingan kekakuan balok semi pracetak dengan variasi dimensi balok semi pracetak dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Perbandingan Nilai Kekakuan Balok Semi Pracetak

Model Balok Semi Pracetak	Kekakuan (kN/mm)
1 Lapis tinggi 140 mm	0,99
1 Lapis tinggi 290 mm	8,21
2 Lapis tinggi 290 mm	9,09

Berdasarkan Tabel 9 diketahui balok semi pracetak 2 lapis tinggi 290 mm

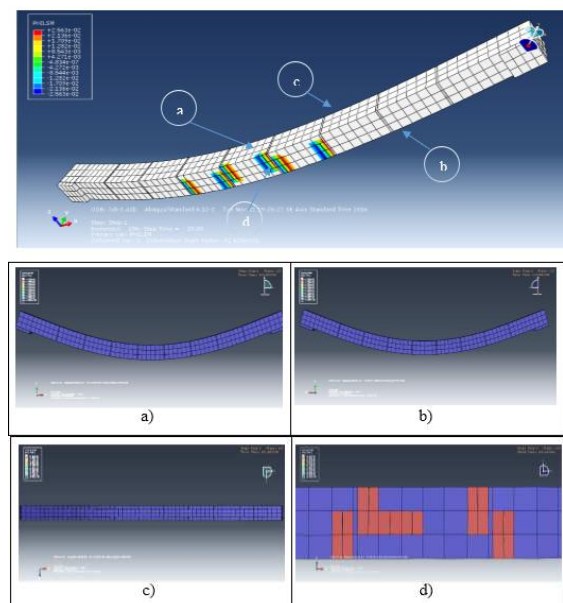
mempunyai nilai kekakuan terbesar, yakni 9,09 kN/mm.

D.3 Evaluasi Pola Retak

Pola retak balok umumnya terjadi pada arah transversal searah tulangan sengkang. Pola retak terjadi pada bagian sisi tarik balok.

D.3.1 Pola retak balok semi pracetak 1 lapis tinggi 140 mm

Hasil analisis elemen hingga nonlinier pada balok semi pracetak 1 lapis tinggi 140 mm, didapatkan balok tersebut menunjukkan bahwa retak maksimum terjadi pada beban lateral 8,61 kN dengan lendutan 8,7389 mm, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik balok. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah samping balok kearah memanjang balok. Balok semi pracetak 1 lapis mengalami retakan yang lebih merata akibat dari dimensi balok yang mengalami kekakuan yang kecil.

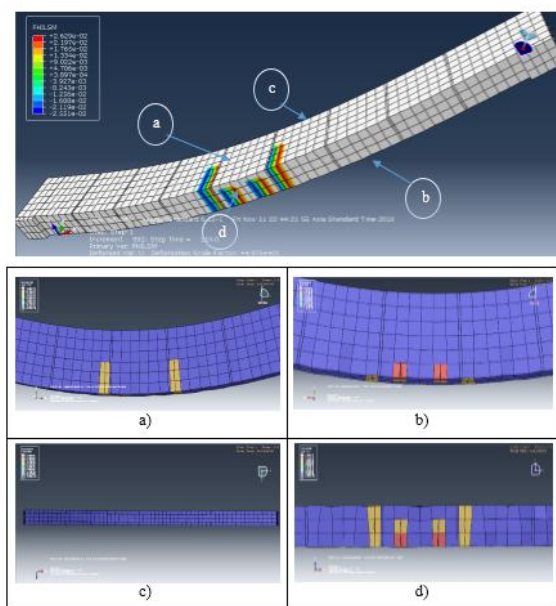


Gambar 19 Pola penjalaran retak balok semi pracetak 1 lapis tinggi 140 mm

D.3.2 Pola retak balok semi pracetak 1 lapis tinggi 290 mm

Hasil analisis elemen hingga nonlinier pada balok semi pracetak 1 lapis tinggi 290 mm didapatkan balok tersebut

menunjukkan bahwa retak maksimum terjadi pada beban lateral 29,64 kN dengan lendutan 3,6120 mm, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik balok. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah samping balok kearah bagian memanjang balok, retakan selanjutnya merupakan perpanjangan retak sebelumnya dan seiring dengan pertambahan beban semakin melebar dan menambah retakan baru berupa retak lentur pada daerah balok yang mengalami tarik.

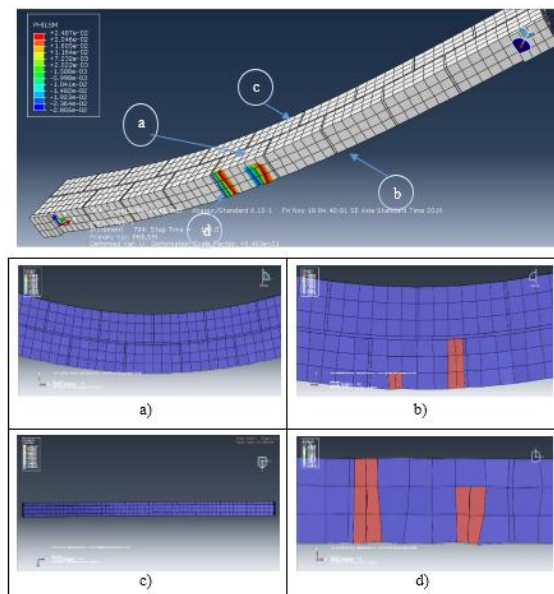


Gambar 20 Pola penjaralan retak balok semi pracetak 1 lapis tinggi 290 mm

D.3.3 Pola retak balok semi pracetak 2 lapis tinggi 290 mm

Hasil analisis elemen hingga nonlinier pada balok semi pracetak 2 lapis dengan tinggi 290 mm, balok tersebut menunjukkan bahwa retak maksimum terjadi pada beban lateral 25 kN dengan lendutan 2,7519 mm, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik balok. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah samping searah memanjang tulangan sengkang balok, retakan selanjutnya merupakan perpanjangan retak sebelumnya dan seiring dengan pertambahan beban semakin melebar dan

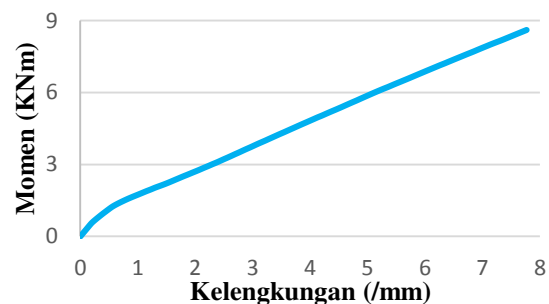
menambah retakan baru. Penjaralan retak lentur terjadi sebagian besar sepanjang bentang pada daerah tarik balok.



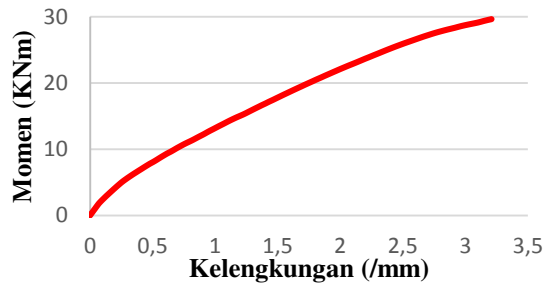
Gambar 21 Pola penjaralan retak balok semi pracetak 2 lapis tinggi 290 mm

D.4 Momen dan Kelengkungan

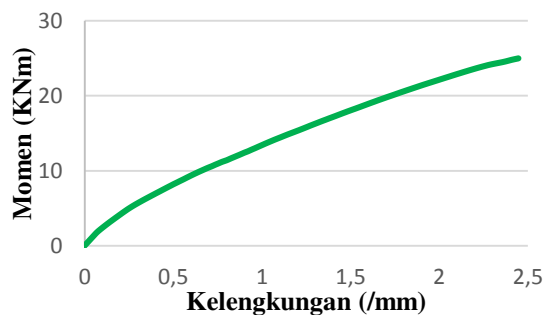
Model balok semi pracetak akan mengalami lendutan akibat beban lateral dan beban aksial. Lendutan pada balok tersebut akan menyebabkan terjadinya peningkatan momen. Momen lentur (M) pada tengah balok dapat diperoleh melalui hubungan $M = P(e + \delta)$. Kurvatur dapat dihitung melalui jari-jari kelengkungan yang bergantung pada nilai lendutan (δ). Perbandingan momen-kurvatur pada balok semi pracetak dengan berbagai variasi dimensi balok dapat dilihat pada beberapa Gambar 22, Gambar 23 dan Gambar 24 di bawah ini.



Gambar 22 Perbandingan momen-curvature balok semi pracetak 1 lapis tinggi 140 mm



Gambar 23 Perbandingan momen-*curvature* balok semi pracetak 1 lapis tinggi 290 mm



Gambar 24 Perbandingan momen-*curvature* balok semi pracetak 2 lapis tinggi 290 mm

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis balok semi pracetak satu lapis dan dua lapis yang dibebani menggunakan metode dua beban (*two point loading*) di sepertiga panjang bentang balok dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Balok semi pracetak 1 lapis dan 2 lapis yang dianalisis dengan menggunakan *software* Abaqus 6.12 pada penelitian Tugas Akhir ini mengalami retak yang diakibatkan oleh lentur, karena posisi terjadinya retak berada di daerah bidang lentur yang mengalami tegangan tarik.
2. Kapasitas kekuatan balok semi pracetak semakin meningkat sebelum mengalami retak seiring pertambahan dimensi tinggi balok. Perbandingan nilai pola retak pertama kali terjadi pada balok semi pracetak tersebut terhadap beban lateral (P_{crack}) yang bekerja pada balok semi pracetak berturut-turut adalah 1,12 kN, 4,68 kN dan 4,60 kN.

3. Kekakuan balok semi pracetak meningkat seiring dengan pertambahan dimensi tinggi balok semi pracetak. Kekakuan balok semi pracetak 1 lapis 140 mm, balok semi pracetak 1 lapis 290 mm dan balok semi pracetak 2 lapis 290 berturut-turut adalah 0,99 kN/mm, 8,21 kN/mm dan 9,09 kN/mm.
4. Kapasitas kekuatan maksimum balok semi pracetak meningkat seiring dengan pertambahan dimensi tinggi balok. Perbandingan nilai beban maksimum terjadi pada balok semi pracetak tersebut terhadap beban lateral (P_{maks}) yang bekerja pada balok semi pracetak berturut-turut adalah 8,61 kN, 29,64 kN dan 25 kN.
5. Kekuatan momen lentur yang terjadi pada balok semi pracetak meningkat seiring dengan pertambahan dimensi balok. Nilai momen lentur maksimum balok semi pracetak 1 lapis 140 mm, balok semi pracetak 1 lapis 290 mm dan balok semi pracetak 2 lapis 290 berturut-turut adalah 8,61 kNm, 29,64 kNm dan 25 kNm.
6. Kelengkungan yang terjadi balok semi pracetak meningkat seiring pertambahan dimensi balok semi pracetak. Nilai kelengkungan maksimum balok semi pracetak 1 lapis 140 mm, balok semi pracetak 1 lapis 290 mm dan balok semi pracetak 2 lapis 290 berturut-turut adalah 7,77 /mm, 3,21 /mm dan 2,44 /mm.

E.2 Saran

1. Penelitian ini hanya menganalisis pengaruh pertambahan dimensi pracetak pada balok semi pracetak akibat peningkatan beban aksial dan penelitian terdahulu telah ada yang membahas tentang kuat lentur kolom dan sistem pelat lantai semi pracetak. Oleh sebab itu disarankan untuk studi selanjutnya analisis dilakukan untuk kolom semi pracetak dan pelat semi pracetak untuk tinjauan terhadap perilaku geser yang terjadi sehingga keseluruhan kekuatan

lentur dan geser yang terjadi pada suatu struktur semi pracetak tertentu dapat diketahui lebih detail.

2. Bataton yang digunakan sebagai komponen balok dan digunakan sebagai bekisting digunakan model Bataton U, disarankan dicoba bataton dengan tipe lain sebagai pembandingan antara yang lebih baik untuk komponen strukturnya yang lebih baik di kemudian hari.
3. Penelitian ini hanya menggunakan 2 (dua) buah beban aksial di sepertiga bentang balok, disarankan mencoba dengan analisis beban horizontal atau bisa jadi menggunakan beban merata di sepanjang bagian balok yang menerima beban.
4. Analisis penelitian terbatas terhadap perilaku kekuatan balok semi pracetak akibat peningkatan beban aksial sehingga diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat menganalisis daktilitas dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, F. (2016). *Analisis Kuat Lentur Murni Kolom Semi Pracetak*. Pekanbaru: Fakultas Teknik Universitas Riau.
- Cahyono, T. A. (2015). Analisa Pengujian dan Perbandingan Kuat lentur Balok Beton Bertulang dengan Baja Tulangan Baru dan Baja Tulangan Bekas Bongkaran. *Analisa Kuat Lentur Balok BBeton Bertulang*, 9 - 10.
- Dady, Y. T. (2015). Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang. *Jurnal Sipil Statik Vol.3 No.5 Mei 2015 (341-350) ISSN: 2337-6732*, 342 - 343.
- Insani, A. (2012). Jenis- jenis elemen struktur. *Jenis- jenis elemen struktur*, 4.
- Muliawan, C. B. (2007). Analisa perbandingan biaya dan waktu sistem konstruksi konvensional dengan sistem konstruksi pracetak (studi kasus : gedung perkantoran perusahaan gas negara surabaya). 1.
- Noorhidana, V. (2009). Kajian Eksperimental Pengaruh Bentuk Penampang Balok Terhadap Beban Maksimum dan Kekakuan Balok Beton Bertulang. *REKAYASA, Jurnal Sipil dan Perencanaan, Vol. 13 No.2*, 200 - 201.
- Pardomuan, F. (2015). Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton dengan Variasi Kuat Tekan Beton. *Jurnal Sipil Statik Vol.3 No.5 Mei 2015 (313-321) ISSN: 2337-6732*, 317.
- Putra, I. (2010). Perbandingan Beton Pabrikasi dengan Beton Metode Konvensional. *Tinjauan Aspek Biaya dan Waktu*, 1-2.
- Riadi, M. (2012, November). *Analisis Lentur Balok Beton Bertulang*. Dipetik Mei 3, 2016, dari Analisis Lentur Balok Beton Bertulang.
- Simanjuntak, J. (2014). Kajian Numerikal / ABAQUS Damper Pelat Baja. *BAB III Kajian Numerikal / ABAQUS Damper Pelat Baja*, 3.
- Sitorus, D. (2014). Pengujian Lentur. *Pengujian Lentur*, 4.
- Triwiyono, A., Siringoringo, P., Ndaru, A., Ohlin, Z., Ilham, P., & Tatyana, A. (2010). Sistem Lantai Komposit dari Bahan Pracetak Support Beam, Curve Tile dan Beton Cor di Tempat. *Sistem Lantai Komposit dari Bahan Pracetak dan Beton Cor di Tempat*, 3.
- Wahyudi, H. (2010). Perencanaan struktur gedung BPS provinsi Jawa Tengah menggunakan beton pracetak. *Perencanaan struktur gedung BPS provinsi Jawa Tengah menggunakan beton pracetak*.
- Wibowo, L. S. (2010). Studi perilaku sambungan balok pracetak untuk rumah sederhana tahan gempa akibat beban statik. 2.
- Widodo, D. S. (1996). Metode Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Balok Uji Sederhana yang Dibebani Terpusat Langsung. *SNI 03-4154-1996*, 7.